# PREMIO ESTATAL DE INNOVACIÓN 2006

CONSEJO ESTATAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

GOBIERNO DEL ESTADO DE MICHOACÁN

Candidatura de:

Dr. Leonardo Romero Muñoz

Profesor Investigador
División de Estudios de Posgrado
Facultad de Ingeniería Eléctrica
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

5 de octubre de 2006

**Resumen**

En la actualidad la investigación en robótica móvil en el país se realiza utilizando robots importados los cuales son sistemas cerrados, costosos de adquirir y sobre todo de mantener. Para ayudar a resolver esta situación se abordó la tarea de desarrollar un robot móvil de alta tecnología susceptible de comercializarse.

Este nuevo robot nace como un sistema abierto, un sistema donde **está disponible toda la información de diseño del robot** y los usuarios tienen la posibilidad de modificar el comportamiento del robot, expandir sus capacidades e inclusive realizar reparaciones. Al conjuntar el esfuerzo de su servidor, iniciado desde su tesis doctoral sobre robótica móvil, con el dueño de un pequeño taller de Paracho Mich., experto en la elaboración de partes mecánicas y sobre todo con mucho interés en incursionar sobre la robótica; **fue posible cristalizar el anhelo común de desarrollar un robot móvil michoacano competitivo en sus capacidades con los robots importados y superior en cuanto a ofrecer una plataforma abierta, sin información oculta.**

La empresa de Paracho comercializó el primer robot de este tipo y es un orgullo que el primer cliente haya sido la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Sobre este robot la UNAM está realizando investigación en el área de interfases robot-personas, navegación y seguimiento de personas.

Lo logrado hasta ahora permite pronosticar que Michoacán podría consolidarse como el primer fabricante nacional de robots móviles.

En este documento se describe brevemente la contribución de su servidor en el área de robótica móvil. Se describe las condiciones en las cuales se realiza la investigación, la motivación para desarrollar nuestro robot móvil, sus principales características y su incipiente comercialización.

## 1. La situación de la robótica móvil en México

Una característica importante para realizar investigación en robótica móvil es contar con un robot que sea flexible, abierto y poderoso. Sin embargo, hoy en día en México, todos los robots móviles comerciales son importados y no tienen plataformas abiertas que permitan adicionar nuevos accesorios o modificar su funcionamiento, y además el mantenimiento es lento y caro. En muchos casos es necesario exportar y volver a importar el robot, con el consiguiente proceso burocrático.

Su servidor tuvo una mala experiencia con un robot móvil importado al inicio de su doctorado en el Tecnológico de Monterrey en 1998. El disco duro de la computadora de abordo del robot móvil NOMAD falló y no fue posible que el robot volviera a funcionar. El robot ya no tenía garantía, el fabricante de dicho robot había sido absorbido por otra compañía y no dada mantenimiento a ese modelo de robots. Fue una completa lástima, sobre todo considerando su costo de alrededor de 50,000 dolares americanos. Hasta la fecha continúa el robot en el tecnológico esperando que algún estudiante se atreva a desarmarlo y quizás aprovechar alguna de sus partes. Lo lamentable de este tipo de situaciones es que ocurren frecuentemente en nuestro país. Robots costosos operan mientras están en el período de garantía y después se abandonan cuando fallan.

Otro problema mayor es que son sistemas cerrados y normalmente suministran código ejecutable, no el código fuente de los programas de control del robot. Se hace práctimante imposible realizar reparaciones, extensiones o modificaciones del comportamiento del robot.

## 2. Motivación: disminución de la dependencia tecnológica

Para superar las desventajas antes mencionadas del uso de robots importados, se desarrolló y construyó un robot móvil con características equiparables a los robot móviles importados, obteniendo así un robot móvil adecuado para la investigación en robótica móvil. Más aún, este robot móvil se desarrolló bajo el concepto de ofrecer una **plataforma abierta**. Esto significa que está disponible la información de diseño del robot, para beneficio de la comunidad de investigadores y estudiantes de robótica.

## 3. Prototipos iniciales.

Su servidor desarrolló de un robot móvil durante sus estudios de doctorado que le permitió continuar su investigación doctoral, a pesar de la falla de robot importado. El primer prototipo fue muy rudimentario, usando los materiales de fácil acceso, pero resultó débil en su parte estructural y con características mecánicas que requerían un avance significativo. La figura 1 muestra una vista de este robot.

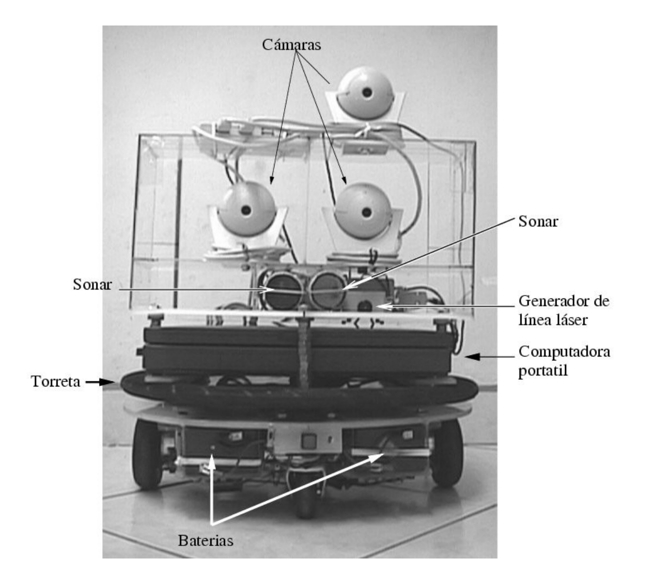



Figura 1. Primer prototipo construido durante el doctorado.

Finalizado el doctorado, Rafael Cardiel Cervantes, de la empresa Cervantes Co. de Paracho Mich. me contactó porque quería desarrollar brazos robóticos. Fue así como comenzamos a investigar y desarrollar una versión mejorada del robot. Su servidor se encargaría del diseño electrónico, control de motores, sensores y de todo el desarrollo de programas de las pequeñas computadoras abordo del robot (llamadas técnicamente microcontroladores). Se desarrollaró una nueva versión financiada por su servidor y posteriormente se desarrolló otra nueva versión financiada por la Secretaría de Educación Pública (SEP) como parte del Programa de Mejoramiento del Profesorado (PROMEP). Así que se llegó al robot de la figura 2.

Este nuevo robot luce mucho mejor que la primera versión. Tiene un anillo de sonares, tres cámaras,un telémetro láser y una computadora a bordo. Las cámaras y el láser están montadas sobre un sistema de giro-inclinación. Sin embargo, este robot utiliza motores de corriente directa con escobillas que tienen una caja de engranes incluida. Resultó que los motores generan mucho ruido eléctrico en su operación que afecta el desempeño de los otros componentes y la caja de engranes tenía holguras indeseables que rápidamente se incrementaban debido al desgaste de los engranes.

Finalmente se emprendió el reto de utilizar motores de corriente directa sin escobillas, los cuales tienen un tiempo de vida mucho más grande y son muy silenciosos. Adicionalmente se decidió diseñar y construir cajas de engranes propias utilizando engranes industriales.

Esto agregó nuevos retos, mecánicos, electrónicos y de programación. Los controladores comerciales de los motores sin escobillas son caros y sólo proporcionan control de velocidad. Nosotros requeríamos un control de posición y velocidad para el robot.

Esto significó investigar y desarrollar un control de dichos motores que resultó mucho más económico que los controladores comerciales y se obtuvo el control de

posición y velocidad. El robot desarrollado se muestra en la figura 3.




Figura 2. Prototipo construido después el doctorado.

## 4. Características principales del robot móvil desarrollado

El robot consta de una base móvil y un sistema de giro-inclinación. La base tiene dos ruedas de tracción y dos de soporte. Las ruedas están accionadas por motores de corriente directa sin escobillas con encoders de alta precisión y el control es llevado a cabo por un microcontrolador avanzado incluido en la base. La energía se obtiene de 4 baterías Plomo-ácido recargables. Los motores, los microcontroladores y un circuito integrado de la tarjeta de control se importan. Las demás partes del robot son nacionales.

El sistema de giro inclinación está colocado sobre la base, puede dar un giro completo, cambiar su inclinación y permite alojar un telémetro láser marca SICK, con un masa superior a los 5 Kg, y hasta 3 cámaras digitales. Al igual que en la base, el giro e inclinación están operados por motores de corriente directa sin escobillas con encoders de alta precisión y el control es llevado a cabo por otro microcontrolador avanzado incluido en la base. Adicionalmente el sistema de inclinación está equipado con un freno mecánico que permite conservar la energía de las baterías del robot. La comunicación con el robot se realiza por un puerto serial y se puede alojar una computador portatil sobre la base del robot, debajo del sistema de giro-inclinación.




Figura 3. El primer robot comercial mexicano. A la izquierda se muestra el robot móvil desarrollado y a la derecha se muestra el robot equipado por la UNAM con una “cara”.

## 5. Inicio de la comercialización del Primer Robot Móvil Michoacano

Me da mucho gusto informar que la UNAM adquirió el primer robot, mostrado en la figura 3, le puso una cara, cámaras y un telémetro láser. No tengo noticias de que algún otro robot móvil haya sido comercializado anteriormente, por lo que sería el primer robot Mexicano desarrollado precisamente en Michoacán. La factura del robot aparece en la figura 4.

Con este robot se preparó el equipo de investigadores de la UNAM para participar en la competencia "Robot at home" en Alemania. Desafortunadamente el equipo de la UNAM no contó con el presupuesto necesario para la transportación del robot a Alemania. En la figura 4 se muestra la página del CONACYT que da cuenta de estos preparativos (http://www.conacyt.mx/comunicacion/agencia/notas-vigentes/robotathome.htm). En el periódico la Jornada del martes 13 de junio de 2006 también aparece un artículo similar (http://www.jornada.unam.mx/2006/06/13/a15n1cie.php).




Participará la UNAM en campeonato mundial de robots

- Los universitarios tomarán parte en la Robo Cup que se celebrará en Bremen, Alemania
- El representativo universitario estará integrado por los robots TX8 y TPAR8, y con ellos viajarán alumnos de maestría y licenciatura de la Facultad de Ingeniería
- El equipo contenderá en una nueva categoría: Robot at home

11:37 hrs.

Por José Luis Olín Martínez

Ciudad de México, 08/06/06 (AG).- Los aficionados al futbol no son los únicos que tienen la mirada puesta en Alemania, también los amantes de la robótica, pues en pocos días dará inició –en la ciudad de Bremen– una edición más de la RoboCup, el campeonato mundial de futbol robótico.

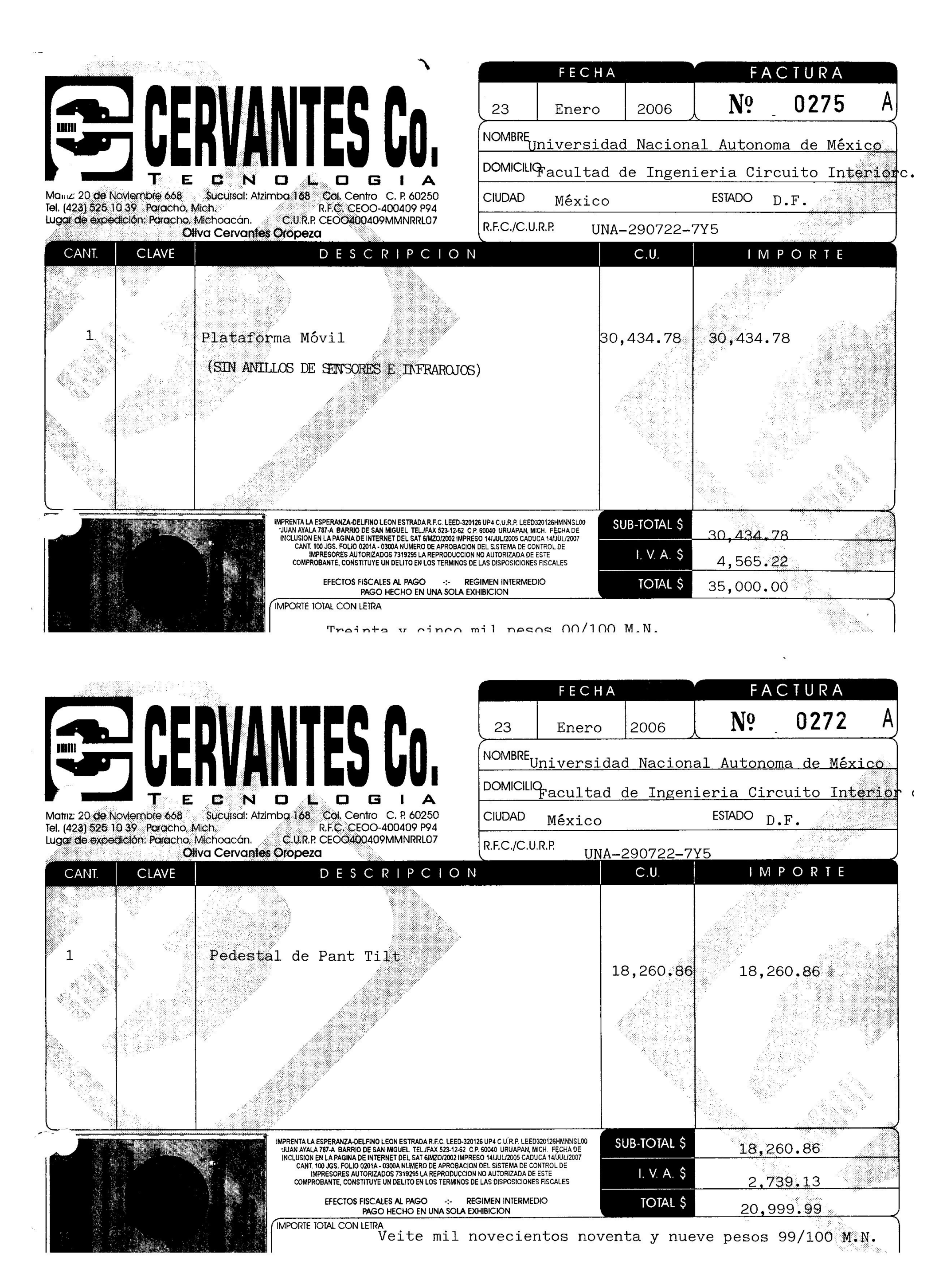
Esta competición se celebró por primera vez en 1997 en Nagoya, Japón, y cuenta con seis categorías distintas, una de ellas nueva: Robot at home, la cual tiene como propósito fomentar el desarrollo de robots capaces de asistir al ser humano en la realización de tareas cotidianas.

En esta primera edición de Robot at home, México será representado por un equipo de investigadores de Facultad de Ingeniería de la UNAM, el cual enviará dos robots: el TX8 y el TPAR8 o T-paracho, como lo han bautizado los universitarios por haberse armado en la Universidad Michoacana, ubicada justamente en la comunidad de Paracho, Michoacán.

La delegación mexicana que viajará a tierra mundialista está encabezada por el doctor Jesús Savage Carmona, académico adscrito al Laboratorio de Biorobotica, de la máxima casa de estudios.

El investigador universitario, en su calidad de "entrenador" del equipo explica en qué consiste la competencia: "hay tres pruebas, en una de ellas el robot debe ser capaz de seguir a un ser humano, tras recibir una instrucción de voz; en otra, el robot tiene que hacer un recorrido y visitar tres diferentes sitios dentro de una habitación y, por último, hay una prueba libre.

Figura 4. Preparando el robot móvil para ir a Alemania. Al robot lo bautizaron como TPAR8 por ser la compañia de Paracho Mich.



**CERVANTES Co.**
TECNOLOGIA

Matriz: 20 de Noviembre 668 Sucursal: Atzimba 168 Col. Centro C. P. 60250
Tel. (423) 525 10 39 Paracho, Mich. R.F.C. CEOO-400409 P94
Lugar de expedición: Paracho, Michoacán. C.U.R.P. CEOO400409MMNRRL07
Oliva Cervantes Oropeza

| FECHA | | | FACTURA |
|---|---|---|---|
| 23 | Enero | 2006 | Nº 0275 A |

NOMBRE Universidad Nacional Autonoma de México
DOMICILIO Facultad de Ingenieria Circuito Interior c.
CIUDAD México ESTADO D.F.
R.F.C./C.U.R.P. UNA-290722-7Y5

| CANT. | CLAVE | DESCRIPCION | C.U. | IMPORTE |
|---|---|---|---|---|
| 1 | | Plataforma Móvil (SIN ANILLOS DE SENSORES E INFRAROJOS) | 30,434.78 | 30,434.78 |

IMPRENTA LA ESPERANZA-DELFINO LEON ESTRADA R.F.C. LEED-320126 UP4 C.U.R.P. LEED320126HMNNSL00 JUAN AYALA 787-A BARRIO DE SAN MIGUEL TEL./FAX 523-12-62 C.P. 60040 URUAPAN, MICH. FECHA DE INCLUSION EN LA PAGINA DE INTERNET DEL SAT 6/MZO/2002 IMPRESO 14/JUL/2005 CADUCA 14/JUL/2007 CANT. 100 JGS. FOLIO 0201A - 0300A NUMERO DE APROBACION DEL SISTEMA DE CONTROL DE IMPRESORES AUTORIZADOS 7319295 LA REPRODUCCION NO AUTORIZADA DE ESTE COMPROBANTE, CONSTITUYE UN DELITO EN LOS TERMINOS DE LAS DISPOSICIONES FISCALES

EFECTOS FISCALES AL PAGO -:- REGIMEN INTERMEDIO
PAGO HECHO EN UNA SOLA EXHIBICION

| | |
|---|---|
| SUB-TOTAL $ | 30,434.78 |
| I. V. A. $ | 4,565.22 |
| TOTAL $ | 35,000.00 |

IMPORTE TOTAL CON LETRA
Treinta y cinco mil pesos 00/100 M.N.


**CERVANTES Co.**
TECNOLOGIA

Matriz: 20 de Noviembre 668 Sucursal: Atzimba 168 Col. Centro C. P. 60250
Tel. (423) 525 10 39 Paracho, Mich. R.F.C. CEOO-400409 P94
Lugar de expedición: Paracho, Michoacán. C.U.R.P. CEOO400409MMNRRL07
Oliva Cervantes Oropeza


| FECHA | | | FACTURA |
|---|---|---|---|
| 23 | Enero | 2006 | Nº 0272 A |

NOMBRE Universidad Nacional Autonoma de México
DOMICILIO Facultad de Ingenieria Circuito Interior
CIUDAD México ESTADO D.F.
R.F.C./C.U.R.P. UNA-290722-7Y5

| CANT. | CLAVE | DESCRIPCION | C.U. | IMPORTE |
|---|---|---|---|---|
| 1 | | Pedestal de Pant Tilt | 18,260.86 | 18,260.86 |


IMPRENTA LA ESPERANZA-DELFINO LEON ESTRADA R.F.C. LEED-320126 UP4 C.U.R.P. LEED320126HMNNSL00 JUAN AYALA 787-A BARRIO DE SAN MIGUEL TEL./FAX 523-12-62 C.P. 60040 URUAPAN, MICH. FECHA DE INCLUSION EN LA PAGINA DE INTERNET DEL SAT 6/MZO/2002 IMPRESO 14/JUL/2005 CADUCA 14/JUL/2007 CANT. 100 JGS. FOLIO 0201A - 0300A NUMERO DE APROBACION DEL SISTEMA DE CONTROL DE IMPRESORES AUTORIZADOS 7319295 LA REPRODUCCION NO AUTORIZADA DE ESTE COMPROBANTE, CONSTITUYE UN DELITO EN LOS TERMINOS DE LAS DISPOSICIONES FISCALES

EFECTOS FISCALES AL PAGO -:- REGIMEN INTERMEDIO
PAGO HECHO EN UNA SOLA EXHIBICION


| | |
|---|---|
| SUB-TOTAL $ | 18,260.86 |
| I. V. A. $ | 2,739.13 |
| TOTAL $ | 20,999.99 |

IMPORTE TOTAL CON LETRA
Veite mil novecientos noventa y nueve pesos 99/100 M.N.

Figura 4. La facturas del primer robot comercializado.

## 6. Información disponible en internet

Como se mencionó anteriormente, está disponible **toda la información** del robot. Esto incluye: el manual de usuario, explicaciones didácticas de los controles desarrollados, ejemplos de aplicaciones, el protocolo de comunicación, los circuitos, los código fuentes y compilados y la configuración de una computadora para modificar y expandir los programas de los microcontroladores. Esto aunado a que se utiliza el sistema operativo Linux, el cual es gratuito, y compiladores incluidos en Linux, hace posible que un usuario con conocimientos en electrónica y programación puede reparar, modificar o expandir las capacidades del robot. Con ello, nuestro robot se vuelve ideal para centros educativos o de investigación del país.

Se incluye en el CV de su servidor un ejemplar de la información del robot, la cual también está disponible en la siguiente dirección de internet:

http://faraday.fie.umich.mx/~lromero/rc_html/rc-mobile-robot.html

## 7. Acciones para el futuro

Se tiene pensando mejorar el robot móvil en los siguientes aspectos:

- Una versión más pequeña del control de los motores que elimina la necesidad de disipadores de calor.
- Proporcionar interfases (drivers) de nuestro robot para la plataforma Player/Stage, una plataforma que se está popularizando en el mundo de los robots móviles para programar en forma independiente del robot a utilizar.
- Incluir rutinas para la planeación de trayectorias suaves del robot.

Con ello, el siguiente robot será más competitivo y un poco más barato.

## 8. Publicaciones realizadas

En el CV de su servidor, en la sección de publicaciones se presentan los artículos que se han publicado con respecto al desarrollo del robot. En ellos han participado alumnos de la licenciatura y/o maestría en ingeniería eléctrica que ofrece la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería Eléctrica. También se incluyen artículos sobre investigaciones desarrolladas sobre el robot.

Al lector interesado, en la página de internet de un servidor (http://faraday.fie.umich.mx/~lromero/publications-by-type.html) puede consultar los artículos completos.